

江河崩岸的类型与特征

张幸农^{1,2} 蒋传丰^{1,3} 陈长英² 应 强²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098;
2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210024; 3. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029)

摘要 根据长江中下游有关崩岸实例, 结合以往的相关研究, 经过归纳总结和分析, 从不同角度出发对崩岸进行类型划分, 并阐述各种崩岸的形成条件及特征。结果表明: 按崩岸外观形态和特征区分, 有洗崩、条崩和窝崩 3 种类型; 按崩塌模式区分, 有浅层崩塌、平面崩塌、圆弧滑动崩塌与复合式崩塌 4 种类型; 按崩岸成因区分, 有侵蚀型、坍塌型、滑移型和迁移(流滑)型 4 种类型。各类崩岸之间存在一定的内在关系。

关键词 江河崩岸; 崩岸类型; 崩岸特征

中图分类号: TV147; P642.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2008)05-0066-05

Types and features of riverbank collapse//ZHANG Xing-nong^{1,2}, JIANG Chuan-feng^{1,3}, Chen Chang-ying², YING Qiang²
(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China; 3. Water Conservancy Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: Riverbank collapses are categorized based on studies of instances of riverbank collapse in the middle and lower reaches of the Yangtze River and previous research and achievements. They can be categorized as wash collapse, strip collapse or arc collapse according to their appearances and characteristics; as shallow failure, plane failure, rotational failure or compound failure according to their modes of failure; and as erosion collapse, crash collapse, slide collapse or flow slide according to the collapse formation conditions. The formation conditions and features of each type are also described.

Key words: riverbank collapse; collapse types; collapse features

河岸崩塌(简称崩岸)在天然江河中普遍存在, 在我国长江中下游尤为突出。崩岸实际上是河道洪漫滩地的冲塌或坍落, 因而属河床演变的一种表现形式, 它不仅始终出现在整个河道的造床过程之中, 而且在河道发育成熟并形成一定的态势之后仍在不同河型中按其固有的规律不断地出现。

崩岸涉及水、土两方面因素, 与普通土坡滑坡和崩塌不完全相同, 可认为是土坡失稳破坏的一种特殊形式。在不同河岸土体组成和外界动力条件下, 崩岸形态迥异。正确区分崩岸类型并认识其特征, 对于研究崩岸形成原因和机理、探索合理有效的预防和治理措施极为重要。国内外对此问题虽有一些研究, 但至今尚无全面统一的类型区分标准。笔者结合以往相关研究, 根据有关崩岸实例, 从不同角度出发划分崩岸类型, 并分析崩岸形成条件及特征, 为进一步认识崩岸现象的本质与规律提供理论基础。

1 按崩岸形态分类

针对长江中下游崩岸的外观形态和特征, 我国治河工程界有不少经验性的分类或习惯表述法^[1], 目前公认的基本上有洗崩、条崩和窝崩 3 种类型。

1.1 洗崩

洗崩是指局部河岸表层或小范围土体受水流、风浪(或船行波)侵蚀淘刷形成的剥落或流失, 故俗称洗崩。洗崩的崩塌规模较小, 形成过程简单, 一般崩段长度仅有十余米或数十米, 坍落土体体积在数百立方米之内, 发生的时间较短, 几小时就可发生。图 1 所示的洗崩位于长江安庆河段广济圩, 照片拍摄时间为 2004 年 4 月 7 日。

洗崩在大江大河普遍存在, 各种水情时均会出现, 因而分布广、发生频率高。在长江中下游河岸上洗崩随处可见, 实例很多, 难以统计实际数量。



图1 洗崩示例

1.2 条崩

条崩是指长距离河岸土体的大幅度崩解或塌落,故俗称条崩。条崩的崩段长度可达数百米甚至更长,河岸崩塌的深度相近,可达十多米或几十米,外形上呈条带状,崩塌土体体积可达几万甚至几十万立方米。其形成过程较为复杂,在沿岸水流强度大、土质抗冲性能较差且分布均匀的河段易形成,一般出现在汛后枯水期,也有少数出现在中、洪水期。图2所示的条崩位于长江望江河段江调圩,照片拍摄时间为1997年3月26日。



图2 条崩示例

条崩在长江中下游较为常见,据不完全统计,在长江中下游规模较大的崩岸中条崩占80%以上。许多河段因连年发生崩塌,造成岸线不断后退,例如20世纪70~90年代长江宿松河段王家洲和望江河段江调圩条崩现象明显,沿线几千米河岸以每年20m的速率向后崩退。

1.3 窝崩

窝崩是指河岸大面积土体的崩塌,崩塌长度和宽度相当,少则数十米,多则上百米,平面上成窝状(半圆形或马蹄形)楔入河岸,故俗称窝崩。窝崩的土体体积可达数十万立方米,甚至上百万立方米。其形成过程十分复杂,具有多样性,一般在水流强度大、土质抗冲性能差且分布不均匀的河段易形成,既可能由大小不同的多次崩塌所构成,也可能由一次性整体滑移而形成,大多出现在枯水期,少数在洪水期发生。图3所示的窝崩位于长江官洲河段六合圩,照片拍摄时间为1997年3月30日。

窝崩在长江中下游为数不少,据不完全统计,在



图3 窝崩示例

长江中下游规模较大的崩岸中窝崩占15%~20%,每次崩塌均会造成巨大损失,例如1996年1月3~8日长江彭泽河段马湖堤突然发生的2次大规模窝崩,造成数十人伤亡和近百间房屋倒塌,直接经济损失达4000多万元。

2 按崩塌模式分类

从土坡失稳破坏模式出发进行崩岸类别区分,西欧和我国学者均提出过分类方法^[2-5],综合分析各种观点,可归纳出主要有浅层崩塌、平面崩塌、圆弧滑动崩塌及复合式崩塌4种类型。

2.1 浅层崩塌

浅层崩塌是河岸浅层土体强度较小的崩塌破坏,如图4所示,崩塌破坏面基本上与河岸边坡平行。该类型的崩塌一般发生在坡度平缓的河岸,河岸组成基本上是非黏性土。当河岸中存在地下水渗透时,稳定的岸坡坡度可能大幅度减小,而坡面上的植被则有助于河岸的稳定,抑制崩塌的出现。

此类崩塌即俗称的滑坡,例如,1996汛后出现在安徽滁河岸的滑坡即属浅层崩塌形式,其长度130m左右、宽度8~10m、深度0.3~0.5m。

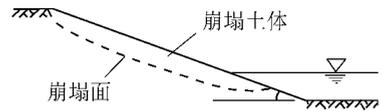


图4 浅层崩塌示意图

2.2 平面崩塌

河岸崩塌强度有大有小,远大于浅层崩塌,如图5所示,崩塌沿平面或平缓的曲线形成,动力因素主要是土体自重。该类崩塌一般发生在坡度陡峭甚至垂直的河岸,河岸土体组成多为非黏性土质,或含黏

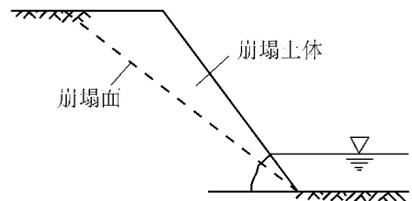


图5 平面崩塌示意图

性土质但存在较深拉裂缝。通常情况下,相对于河岸总高度而言,地下水和河道水位一般较低,或地下水形成的坡内渗流对崩塌影响不大,但若降雨使坡面拉裂缝中充水则可能引起崩塌。

此类崩塌是前述条崩和窝崩中的一种形式,在长江中游居多。例如,长江官洲河段六合圩河岸上部土体基本由均质细沙组成,多年来一直出现典型的平面崩塌破坏形式。

2.3 圆弧滑动崩塌

河岸崩塌强度很大,破坏通常可达到坡角处,甚至会延伸至坡脚以外,使坡脚以上土体隆起形成大规模的河岸滑坡。如图6所示,崩塌沿某一圆弧面或包含对数螺线面和平截面的复合面形成,动力因素是土体自重、地下水渗流。该类崩塌往往出现在坡度较陡、高度中等的河岸,河岸组成为黏性土质,或是土体中存在软弱层(面),坡面常见与岸线平行的拉裂缝,降雨后缝中充水将使岸坡的稳定性急剧下降。滑动面有可能会沿拉裂缝产生和发展,预示了潜在滑坡的大致范围,如果拉裂缝较深(大于岸坡总深度的30%),则可形成平面型的滑坡,当然,软弱层土也会左右滑动面的实际形状。

此类崩塌是前述窝崩中的一种形式,例如,1996年1月3~8日长江彭泽河段马湖堤发生的2次大规模窝崩就属典型的圆弧滑动崩塌破坏形式。

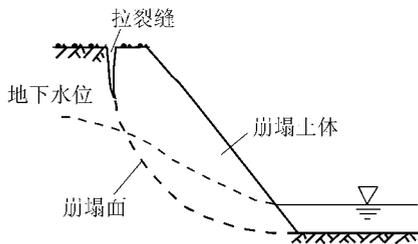


图6 圆弧滑动崩塌示意图

2.4 复合式崩塌

河岸受到严重冲刷时,坡脚产生冲刷下切,其上部土体形成伸出河岸的悬臂。如图7所示,当土体受拉或受剪切后即发生崩塌,崩塌后的土体成块状原封不动地连同植被滑入河道。该类崩塌一般出现在土体组成为二元或多元结构的河岸,譬如上部为黏土或粉质壤土,下部为细沙、粗沙或沙砾石等。

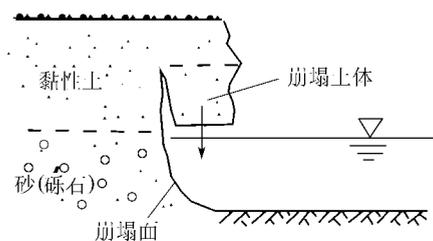


图7 复合式崩塌示意图

此类崩塌也属前述条崩和窝崩中的一种形式,例如,近几十年长江安庆河段广济江堤、马鞍山河段郑蒲圩和南京龙潭河段仁本圩、江都河段嘶马河口出现的崩岸均属典型的复合式崩塌破坏形式。

3 按崩岸成因分类

从崩岸形成原因出发进行崩岸分类最近也有研究^[6-7],归纳总结可得出侵蚀型、坍塌型、滑移型和迁移(流滑)型4种类型。

3.1 侵蚀型

河岸表层土受水流、风浪或船行波、地表径流及外营力侵蚀出现剥落崩解,即前述的洗崩。往往因河道较为顺直,河岸土体抗冲性能较强,侵蚀具有缓慢性 and 持久性的特点。此类河岸在长期侵蚀积累下,岸坡形态虽有一定改变,但稳定性尚好,岸线缓慢后退,或随着水位升降呈现出阶梯状坡面形态。

此类崩岸如前述洗崩,大江大河上普遍存在,形成条件简单。图8所示的侵蚀型崩岸位于马鞍山河段江心洲,照片拍摄时间为2004年4月28日。



图8 侵蚀型崩岸示例

3.2 坍塌型

河岸受严重侵蚀,坡度变陡,在土体自重、裂缝及渗流等多种因素作用下,大块土体倾倒、塌落或崩解,即坍塌型崩岸,见图9(拍摄时间为1997年3月30日,地点为官洲河段六合圩)。其特征一是塌落土体垂直位移远大于水平推移,或被水流分散搬运,或是堆积在坡脚处;二是土体在一段时间内分多次塌落,间隔时间有长有短,呈现渐进式破坏;三是河岸逐渐形成新的稳定坡度,上部土体一般仍维持假



图9 坍塌型崩岸示例

性稳定状态。

此类崩岸大多出现在退水期或枯水期,尤其是冲刷强度大、抗冲性差、洪枯水位落差大的河岸,以长江中游段中居多。当沿线河岸土体组成相似时,形成与岸线平行的长距离条带状崩塌,即前述的条崩,如前述的长江宿松河段王家洲和望江河段江调圩条崩;当沿线河岸土体组成不同时,崩段上下游河岸稳定性较好,崩塌不能沿岸连续形成,只能向河岸内侧纵深方向发展,逐步形成楔入河岸的半圆形或马蹄形崩塌,即前述的窝崩,如前述的长江官洲河段六合圩窝崩。

3.3 滑移型崩岸

河岸存在薄弱面(或层),在多种因素影响下,数十万立方米甚至上百万立方米的大体积土体出现整体性滑移,形成崩塌,土体破坏形态既有线状也有窝状,图10即为滑移型崩岸示例(照片拍摄时间为1996年1月11日,地点为彭泽河段马湖堤)。该类崩岸的特征一是崩塌土体呈整体性失稳破坏;二是破坏土体水平位移大于垂直位移;三是崩塌虽可能间歇地多次出现,但均具有突然性和随机性。



图10 滑移型崩岸示例

此类崩岸在枯水期和洪水期均会出现,成因复杂,主要与当地河岸地质条件有关:一是岸坡土体中有潜在的连续软弱面(或层);二是地表存在明显的

拉裂缝;三是渗流和雨水侵蚀裂缝明显。当整块土体安全系数小于临界值后即形成沿软弱面(层)的失稳破坏。例如,前述的长江彭泽河段马湖堤崩岸,以及历史上的马鞍山电厂崩岸,都属于典型的滑移型崩岸。

3.4 流滑型崩岸

河岸受严重侵蚀,大块土体不断崩落,破坏形态一般也表现为窝状,图11即为流滑型崩岸示例(照片拍摄时间为2005年3月11日,地点为南京龙潭河段仁本圩)。该类崩岸的主要特征一是土体崩落随时间连续多次间歇性地发生;二是崩落土体被水流迅速分散搬运;三是土体崩落破坏了其后部土体的平衡条件,引起的连锁反应使土体崩落不断出现,且破坏程度逐渐增大,形成所谓流滑(flow slide),往往自坡脚处逐级向后溯源破坏,最终形成大面积崩塌。



图11 流滑型崩岸示例

此类崩岸某种程度上与前述坍塌型崩岸相似,区别在于前者是冲刷形成高大陡坡后出现的土体倒塌,而后者是冲刷过程中出现的土体崩落,因而主要出现在中、洪水期近岸流速大的岸段,以长江下游水深流急的岸段居多。例如,前述的南京龙潭河段仁本圩和江都河段嘶马河口窝崩,以及1996年1月3日镇江河段人民滩发生的大窝崩,都属典型的流滑型崩岸。

表1 长江中下游部分崩岸实例及其类型关系

时间	地点	崩长/m	崩宽/m	崩深/m	按形态分类	按模式分类	按成因分类
1990~1995年	荆江郑家河头段	800	22*		条崩	平面崩塌	坍塌型
1998-02-12	九江永安段	222	28	11~20	窝崩	平面崩塌	坍塌型
1991~1998年	宿松王家洲段	1000	20*		条崩	平面崩塌	坍塌型
1994~1998年	望江江调圩	1500	20*		条崩	平面崩塌	坍塌型
1996-01-03~1996-01-08	彭泽马湖堤	960	200	10	窝崩	圆弧滑动崩塌	滑移型
1996-11	官洲六合圩	4140	15~20	5~8	条崩	平面崩塌	坍塌型
2000-02	安庆广济圩	1700	18~56		条崩	复合崩塌	坍塌型
1998-06-04	枞阳大砥含段	210	5~10		条崩	复合崩塌	坍塌型
1983~1996年	枞阳林圩拐段	3300	20*		条崩	复合崩塌	坍塌型
1981~1995年	马鞍山郑蒲段	7000	13*		条崩	复合崩塌	坍塌型
1996年(汛后)	安徽滁河	130	8~10	0.3~0.5	条崩	浅层崩塌	滑移型
1976-11-10	马鞍山电厂段	460	350	8~10	窝崩	圆弧滑动崩塌	滑移型
2004-11-09	南京龙潭仁本圩	100	60	5~7	窝崩	复合崩塌	流滑型
1996-01-03	镇江人民滩	390~620	340	15	窝崩	复合崩塌	流滑型
1984-07-21	江都嘶马弯道	480	240	20	窝崩	复合崩塌	流滑型

* 为年崩宽数据。

4 结 语

从本文所列举的崩岸类型划分中可见,各种分类之间有一定的内在关系,即同一个崩岸实例可归并至不同的分类中。作者根据近 10 多年来长江中下游部分崩岸实例,将其时间、地点、尺度数据及所属类型列于表 1 中,并说明崩岸类型区分相互之间的关系。

应当指出,崩岸问题属于水土结合的土坡失稳破坏问题,影响因素众多,成因机理和发展规律十分复杂,实测资料十分缺乏,目前人们对其认识尚不完全清楚。关于崩岸类型的划分,虽然至今尚无定论,但仍可从河岸崩塌破坏的形态、模式和成因等角度出发进行区分,并总结分析出各类崩岸的形成条件及特征。笔者在此提出的分类方法仅是初步的,还有待于今后进一步补充和深入研究。

参考文献:

[1] 长江流域规划办公室荆江河床实验站. 荆江护岸河段河

(上接第 28 页)

对待定参数进行率定,此时 3 种方式均可给出合理的结果;在缺少实测资料的情况下,由于 E 值和 P_e 值较难预估,而 C_s 值则存在一定的推荐范围,可以作为计算时的取值参考。关于 C_s 系数取值的敏感性分析表明,因参数 C_s 取值不合理而造成的计算误差一般在 20% 以内,故推荐 Smagorinsky 方法作为工程壅水数值计算中紊动黏性系数取值的首选方法。

参考文献:

- [1] 拾兵,贺如泓,于诤方.斜交桥渡的壅水及设计计算[J].水科学进展,2001,12(2):201-205.
- [2] 浦瑞年,李国斌.桩墩壅水高度计算公式的探讨[J].江苏水利,2004(6):18-21.
- [3] 孙国梁,伍冬领,黄世昌.钱塘江第三大桥桩墩壅水情况分析[J].公路,1994(7):26-29.
- [4] 孟庆义,张春义.桩墩壅水特性试验研究[J].北京水利,1996(5):41-44.
- [5] 曹民雄,甘小荣,周丰年,等.潮汐河段桩墩对水流影响的数值计算与分析[J].人民长江,2006,37(4):81-84.
- [6] 袁雄燕,徐德龙.丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的应用研究[J].人民长江,2006,37(4):31-32.
- [7] 陈绪坚,胡春宏.桥渡壅水平面二维数学模型模拟研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2003,1(3):194-199.
- [8] 张玮,吴苏舒,徐宿东,等.南京外秦淮河三山桥拓宽工程洪水壅高数值模拟[R].南京:河海大学交通学院,

床演变分析[C]/长江水利水电科学研究所.长江中下游护岸工程经验选编.北京:科学出版社,1978:98-120.

- [2] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank stability analysis I: Theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114(2): 134-150.
- [3] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank stability analysis II: Application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114(2): 151-172.
- [4] HEMPHILL R W, BRAMLEY M E. Protection of river and canal banks[M]. London: Butterworth, 1989: 56-125.
- [5] 尹国康.长江下游岸坡变形[C]/长江水利水电科学研究所.长江中下游护岸论文集(第二集).武汉: [出版者不详], 1981: 95-104.
- [6] 刘红星,王永平.长江中下游干流河段岸坡变形失稳的基本模式[C]/长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院.长江护岸及堤防防渗工程论文选集.武汉: [出版者不详], 2003: 41-46.
- [7] 张幸农,应强,陈长英.长江中下游崩岸险情类型及预测预防[J].水利学报,2007(增刊):246-250.

(收稿日期 2008-01-30 编辑 高建群)

2004.

- [9] 王晓姝,张玮,廖鹏.上海近海风电场桩群对潮流影响研究[EB/OL].[2006-06-20].http://www.paper.edu.cn.
- [10] 解鸣晓,张玮.桩墩影响下的水动力数值模拟[J].水利水电科技进展,2008,28(3):20-24.
- [11] CHARBENEAU R J, HOLLEY E R. Backwater effects on bridge piers in subcritical flow[R]. Austin, U. S.: Center for Transportation Research, University of Texas, 2001.
- [12] 汪德.计算水力学理论与应用[M].南京:河海大学出版社,1989.
- [13] 李家兴,赵振兴.水力学[M].南京:河海大学出版社,2001.
- [14] 陈玉璞.流体动力学[M].南京:河海大学出版社,2001.
- [15] 王玲玲.大涡模拟理论及其应用综述[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(3):261-265.
- [16] KWAG S H. Large eddy simulation(LES) of turbulent flow by finite difference method[J]. Journal of Hydrodynamics, 2004, 16(4): 403-409.
- [17] 江春波,梁东方,李玉梁.求解浅水流动的分步有限元方法[J].水动力学研究与进展,2004,19(4):475-483.
- [18] 刘中良.网格 Peclet 数和网格尺寸对对流扩散方程差分格式精度的影响[J].石油大学学报,1999,23(2):61-65.
- [19] SMAGORINSKY J S. General circulation experiments with the primitive equations- I, the basic experiment[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91: 99-164.

(收稿日期 2007-06-14 编辑 高建群)